



Monitoring changes in vegetation affected by drought in Ardabil Province

Behroz Sobhani^{1✉} | Fatemeh Vatanparast Galeh Juq²

1. Corresponding Author, Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sobhani@uma.ac.ir
2. Ph.D. student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: f.vatanparast.g72@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 15 March 2025

Revised: 12 July 2025

Accepted: 2 August 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Ardabil province,
Vegetation,
Corolation,
SPI index,
PNPI index.

ABSTRACT

Vegetation, as one of the living components of ecosystems, is adaptive and has an important effect on most ecosystem processes that are strongly influenced by climatic events, including drought. In the present study, the conditions of vegetation changes in relation to the Standard Precipitation Drought Index (SPI) and the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI) for four selected stations in Ardabil province (Ardabil, Khalkhal, Parsabad, and Meshkinshahr) were investigated based on 21-year precipitation statistics (2001-2021) and compared with the satellite-based Vegetation Condition Index (VCI). MODIS sensor data was used to prepare the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to examine vegetation changes on the Google Earth Engine platform. The relationship between drought indicators and vegetation index was analyzed using the Pearson correlation method. Based on the results of the correlation coefficients, the highest correlation between the SPI drought index and NDVI exists at the Parsabad station, which is significant at the 0.01 confidence level, and the lowest correlation is in accordance with the PNPI index at the Khalkhal station. The results of the zoning of the maps showed that based on the calculated SPI, PNPI and VCI indices, in the years 2017 and 2021, the drought event occurred with greater intensity than in the other periods under study. Zonal vegetation maps indicate a decrease in the extent of vegetation cover during the years 2006, 2008, 2013, 2017, and 2021 compared to other years, and at all stations, vegetation cover was in more favorable conditions during the months of Apr and May of the study period. In fact, changes in vegetation cover are a function of changes in drought indices, which indicates that vegetation cover is affected by precipitation fluctuations. Based on the findings of the present study, it is concluded that changes in vegetation cover have a direct relationship with the severity of drought, which is an important issue that requires the attention of natural resource managers and planners for the purpose of vegetation management.

Cite this article: Sobhani, B., & Vatanparast Galeh Juq, F. (2026). Monitoring changes in vegetation affected by drought in Ardabil Province. *Journal of Geography and Planning*, 30(96), 83-104. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66417.3380>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66417.3380>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Drought alters the normal conditions for plants to sustain life and causes a decrease in plant density, ecosystem productivity, threat to species, reduction in agricultural productivity, and significant reduction in cultivated area (Chandra et al., 2021). It is of great importance to correctly understand and obtain information about the state of vegetation, such as normal or drought conditions, in any region. The most common method for monitoring drought is the use of drought indices (Dabrowska-Zielinska, 2002; Shamsi pur et al., 2010). Nowadays, it is possible to understand the impact of drought on vegetation in terms of time and space by using remote sensing techniques and various indicators (Mbatha & Xulu., 2018; Liu et al., 2021).

Materials and Methods

In this study, the Standardized Precipitation Index (SPI) was used to monitor drought at four synoptic stations located in Ardabil province, and the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI) was used to analyze the drought duration from 2001 to 2021. Also, to examine the vegetation status of MOD13Q1 products of the MODIS sensor, annual maps were produced for the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values during the mentioned period. After calculating NDVI, vegetation changes during each year were classified into four classes: areas without vegetation, areas with sparse vegetation, normal and dense vegetation, and their changes were analyzed. In the next step, the relationships between the annual average of SPI and PNPI drought indices and the satellite NDVI index were calculated using Pearson's correlation coefficient.

Results

The results of examining the trend of changes in the SPI index during the study period showed a short-term decrease in drought conditions in recent years only at Meshkinshahr station. In other stations, the intensification of drought stress resulted in further intensification. The drought zoning map based on this index shows that the intensity and extent of drought at the stations increased significantly during 2006, 2008, 2017, and 2021, and it is in a critical state from a drought perspective. Monitoring drought conditions with the PNPI index showed that Ardabil and Meshkinshahr are exposed to moderate to moderate drought conditions, while Khalkhal and Parsabad are also exposed to moderate to severe and very severe drought conditions. According to the zoning map obtained from the PNPI index, most of the years under study are in normal conditions. And severe wetness is related to Parsabad and Khalkhal during 2003 and 2020, respectively, and light to moderate wetness includes Meshkinshahr and Ardabil in 2004 and 2020.

Based on the results of the correlation coefficients, the highest correlation between land indices and NDVI exists at Parsabad station. The results of vegetation changes with the NDVI index also showed that the province's surface was usually in a normal state in terms of vegetation. The study of spatial changes in vegetation cover shows that the largest area of vegetation cover at the stations is for the months of May and April and the smallest for the months of January and February.

Conclusion

Based on the findings of this study, it is concluded that changes in vegetation cover are directly related to the severity of drought; therefore, it is suggested that managers and politicians adopt the necessary policies and plans, especially in the plans of the Ministry of Agricultural Jihad, to reduce the effects of climate change by examining the trends in vegetation cover changes obtained from MODIS sensor images.

Keywords: Ardabil province, Vegetation, Corolation, SPI index, PNPI index



پایش تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشک سالی در استان اردبیل

بهروز سبحانی^۱، فاطمه وطن پرست قلعه جوق^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sobhani@uma.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: f.vatanparast.g72@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:

استان اردبیل،

پوشش گیاهی،

همبستگی،

شاخص SPI،

شاخص PNPI.

پوشش گیاهی به عنوان یکی از اجزاء جاندار زیست بوم‌ها است و اثر مهمی در بیشتر فرایندهای اکوسیستم دارد که تابع رویدادهای اقلیمی، از جمله خشک سالی است. در پژوهش حاضر، شرایط تغییرات پوشش گیاهی در رابطه با شاخص خشک سالی بارش استاندارد (SPI) و شاخص درصد بارش نرمال شده (PNPI) برای چهار ایستگاه منتخب استان اردبیل (اردبیل، خلخال، پارس آباد و مشکین شهر) براساس آمار بارش ۲۱ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۱) بررسی شد و با شاخص ماهواره‌ای وضعیت پوشش گیاهی (VCI) مورد مقایسه قرار گرفت. از داده‌های سنجنده مودیس برای تهیه شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی در پلتفرم گوگل ارث انجین^۱ استفاده شد. واکاوی ارتباط بین شاخص‌های خشک سالی با شاخص پوشش گیاهی با استفاده از روش همبستگی پیرسون انجام گرفت. براساس نتایج حاصل از ضرایب همبستگی، بیشترین میزان همبستگی بین شاخص خشک سالی SPI با شاخص NDVI در ایستگاه پارس آباد وجود دارد که در سطح ۰/۰۱ معنادار است و کمترین میزان همبستگی نیز مطابق با شاخص PNPI در ایستگاه خلخال وجود دارد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خشک سالی نشان داد که براساس شاخص‌های SPI، PNPI و VCI محاسبه شده، در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱، رویداد خشک سالی با شدت بیشتری نسبت به سایر دوره‌های مورد بررسی اتفاق افتاده است. نقشه‌های پهنه‌بندی شده پوشش گیاهی بیانگر کاهش دامنه پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ نسبت به دیگر سال‌ها بوده است و در تمامی ایستگاه‌ها پوشش گیاهی طی ماه‌های آوریل و می دوره مطالعاتی در شرایط مطلوب‌تری قرار داشته است. در حقیقت تغییرات پوشش گیاهی تابع دگرگونی در شاخص‌های خشک سالی بوده که بیانگر متأثر بودن پوشش گیاهی از نوسانات بارش می‌باشد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات پوشش گیاهی با شدت خشک سالی رابطه مستقیمی دارد که این موضوع مهم، توجه مدیران عرصه منابع طبیعی را به منظور مدیریت پوشش گیاهی طلب می‌کند.

استناد: سبحانی، بهروز و وطن پرست قلعه جوق، فاطمه (۱۴۰۵). پایش تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشک سالی در استان اردبیل. جغرافیا و برنامه ریزی، ۳۰ (۹۶)، ۸۳-۱۰۴.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.66417.3380>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

خشک‌سالی وضعیت طبیعی گیاهان برای بقای حیات را دگرگون می‌سازد و سبب کاهش جمعیت گیاهان، بهره‌وری بوم سازگاران^۱ و حتی تهدید وارسته‌های زیستی منطقه‌ای می‌شود. خشک‌سالی غالباً افت محصولات کشاورزی از لحاظ کمیت و کیفیت و کاهش چشمگیر سطح زیر کشت را در پی دارد (چاندرا^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). کاهش پوشش گیاهی بازتاب‌های بسیاری از جمله فرسایش خاک، افزایش جریان‌های سطحی بر اثر بارش‌های ناگهانی، ازدیاد درجه حرارت‌های بیشتر از حد معمول، کاهش نم خاک و خطر بروز سیل را در پی دارد. به‌همین دلیل پایش اثر خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی از ارزشمندی زیادی برخوردار است (میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲). رایج‌ترین روش برای سنجش و پایش خشک‌سالی بهره‌جویی از نمایه‌های خشک‌سالی است (چو^۳ و همکاران، ۱۹۹۳). تعیین یک شاخص درخور جهت بازشناخت ترسالی و خشک‌سالی، یکی از اقدامات مهم و اساسی در پژوهش، برآورد و طرح‌ریزی جهت نظارت بر وضعیت است (دابروسکا-زلینسکا^۴، ۲۰۰۲؛ شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه درک تأثیر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی از لحاظ زمانی و فضایی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و شاخص‌های گوناگون مقدور شده است (امباتا و شولو^۵، ۲۰۱۸؛ لیو^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). درواقع فناوری سنجش از دور با پوشش گسترده و برق‌آسای خود و وجود تصاویر ماهواره‌ای با قدرت بالای تفکیک مکانی، روش مدرن و آسانی را برای مجال پایش زیست‌بوم‌های زمینی مهیا کرده است (خسروی و همکاران، ۲۰۱۷).

پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های مختلفی اثر خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی (SPEI)^۷ و (SPI)^۸ و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۹ و دیگر شاخص‌ها انجام شده است که به چندین مورد اشاره می‌شود:

نتایج همبستگی در مطالعات ژائو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۸) برای حوضه یانگ تسه^{۱۱} چین طی سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ ارتباط معناداری را بین شاخص‌های هواشناسی با پوشش گیاهی نشان داد. در پژوهش ژانگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۸) میزان این همبستگی بین SPEI با پوشش گیاهی چین در طول فصل رشد برابر با ۰/۸۴ بود. در مطالعات صورت گرفته توسط لی^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۹) پایش اثر خشک‌سالی بر رشد پوشش گیاهی چین با استفاده از شاخص‌های SPEI، NDVI و EVI^{۱۴} طی بازه زمانی (۲۰۰۲-۲۰۱۵) کاهش تولید پوشش گیاهی را نشان داد. در پژوهش دوترا^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۱) از بین این شاخص‌ها، NDVI کارایی بیشتری را برای پایش خشک‌سالی شرق برزیل نشان داد. نتایج پژوهش وانگ^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۱) در فلات تبت طی دوره (۲۰۱۹-۱۹۶۱) نشان داد رشد پوشش گیاهی به‌دلیل کاهش خشک‌سالی در شرایط مطلوبی قرار دارد. پوو^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۴) اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی حوضه رودخانه پیارل^{۱۸} را با استفاده از شاخص‌های SPEI و NDVI بررسی کردند.

1. Ecosystem
2. Chandra
3. Chu
4. Dabrowska-Zielinska
5. batha & Xulu
6. Liu
7. Stan Leaf Area Index dardized Precipitation Evapotranspiration Index
8. Standardized Precipitation Index
9. Normalized Difference Vegetation Index
10. Zhao
11. Yang Tse
12. Zhang
13. Li
14. Enhanced Vegetation Index
15. Dutra
16. Wang
17. Wu
18. Pearl River basin

نتایج نشان داد که پوشش گیاهی در مناطق مرتفع (زمان تأخیر کمتر از ۳ ماه) نسبت به مناطق کم ارتفاع (تأخیر ۸ ماه) به خشکی حساس‌تر است.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) واکنش پوشش گیاهی به خشک‌سالی مغولستان را با شاخص‌های SPEI و VHI^۱ بررسی کردند. بیشترین همبستگی بین SPEI سه ماهه با VHI در مناطق بیابانی و علفزار مشاهده شد. لی و همکاران (۲۰۲۴) تغییرات پوشش گیاهی ناشی از خشک‌سالی در سطح جهان را با استفاده از شاخص‌های SPI، LAI^۲ و SPEI بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص SPI دو ماهه با شاخص LAI بیشترین همبستگی را دارد. نتایج پژوهش لی و پان^۳ (۲۰۲۴) با استفاده از NDVI نشان داد توزیع پوشش گیاهی فلات تبت در طول دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۸۲) متأثر از خشک‌سالی بوده است.

در داخل ایران بررسی‌های صورت گرفته در رابطه با اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی، در پژوهش فتح نیا و همکاران (۱۳۹۶) برای استان گلستان کاهش مقدار پوشش گیاهی را طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۸ نشان داد. در پژوهش زارع خورمیزی و همکاران (۱۳۹۶) برای استان یزد طی بازه زمانی (۱۹۹۴-۲۰۱۴) با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و NDVI مشخص شد بیشترین میزان همبستگی سطح پوشش گیاهی با شاخص SPI در فصل بهار وجود دارد. در مطالعات زرگران و همکاران (۱۳۹۸) برای استان کرمانشاه روند تغییرات دو شاخص SPEI و NDVI تقریباً یکسان برآورد شده است. بررسی‌های موغلی (۱۳۹۹) در حوضه آبریز درودزن طی دوره آماری (۲۰۱۵-۲۰۰۱) با شاخص‌های SPI و NDVI بیشترین میزان خشک‌سالی را طی دوره‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ نشان داد. مطابق با یافته‌های زندی و همکاران (۱۴۰۰) پوشش گیاهی مناطق جنوبی ایران طی دوره آماری (۲۰۱۷-۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های SPI و NDVI با کاهش قابل توجهی همراه بوده است. این شاخص‌ها در پژوهش سپهوند و همکاران (۱۴۰۰) کاهش معنی‌دار تراکم پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۹ را برای حوضه کشکان لرستان نشان داد و در حوضه آبریز سد درودزن بیشترین میزان همبستگی را طی دوره آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۰) نمایش داد (عقیقی، ۱۴۰۰). کاهش سطح پوشش گیاهی استان ایلام طی بازه زمانی (۱۳۹۷-۱۳۶۷) در اثر خشک‌سالی از یافته‌های پژوهش عوض پور و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از این شاخص‌ها است.

در مطالعات اسکندری دامنه و همکاران (۱۴۰۱) روند تغییرات پوشش گیاهی ناشی از خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های SPEI، SPI و NDVI در استان هرمزگان طی دوره آماری (۱۳۹۵-۱۳۷۹) کاهش پوشش گیاهی و متأثر بودن آن از نوسانات بارش را نشان داد. شریفی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود به تحلیل اثر خشک‌سالی بر فنولوژی^۴ گیاهی استان همدان طی دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۱) با SPI و NDVI پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین کاهش میزان پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است. محمدی و همکاران (۱۴۰۲) تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز گرگانرود را در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین بررسی کردند. نتایج نشان داد مساحت کاربری شهری در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۹۷ افزایش و اراضی جنگلی کاهش داشته است. عشقی‌زاده (۱۴۰۲) اثر خشک‌سالی بر عملکرد پوشش گیاهی را در شهرستان گناباد برای دوره (۱۴۰۰-۱۳۸۲) با استفاده از RDI^۵، NDVI و EVI و چند شاخص پوشش گیاهی دیگر بررسی کردند. نتایج همه شاخص‌ها وضعیت خشک‌سالی خیلی شدید را نشان داد. بیشترین میزان همبستگی با شاخص EVI همراه بود. برخوردی و همکاران (۱۴۰۳) تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشک‌سالی جنوب استان کرمان را در دوره آماری (۲۰۲۲-۲۰۰۱) با استفاده از شاخص‌های SPEI و EVI بررسی کردند. نتایج نشان داد در ماه‌های آوریل و مارس بیشترین مقدار EVI وجود دارد و بیشترین همبستگی را با شاخص SPEI دوازده ماهه دارد. پژوهش‌های مختلف دیگری پیرامون مطالعه خشک‌سالی با شاخص‌های مختلف توسط (قربانی اقدم و همکاران ۲۰۱۳؛ حسینی و همکاران ۱۳۹۴ و اختیاری خواجه و دین‌پژوه ۱۳۹۷) انجام شده است.

1. Vegetation Health Index

2. Leaf area index

3. Li & Pan

4. Phenology

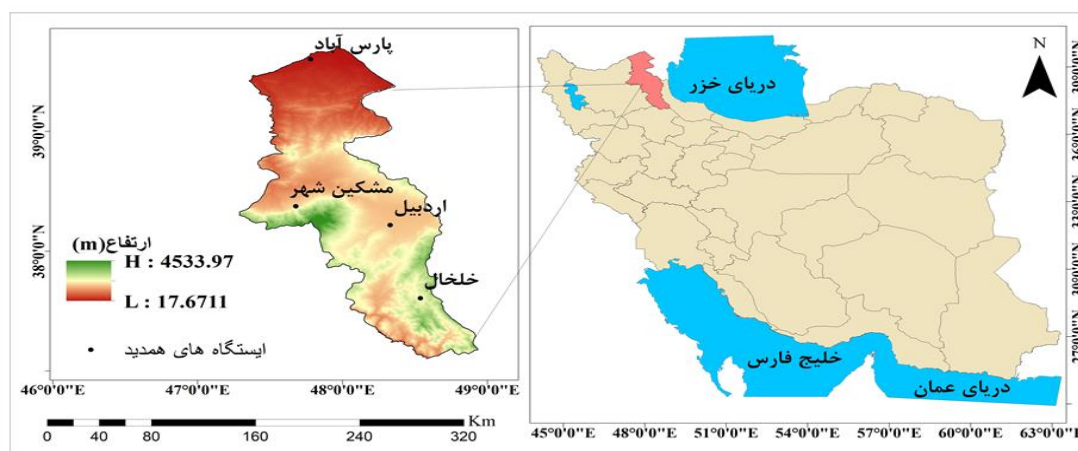
5. Reconnaissance Drought Index

با اتکا به پژوهش‌های مذکور می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی روش مؤثری برای پایش وضعیت خشک‌سالی هست و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای نیز تغییرات پوشش گیاهی را به خوبی نمایش می‌دهد و ابزار سودمندی برای مدیریت زیست‌بوم‌ها است و با شناخت جریان دگرگونی آن می‌توان به بهبود منطقه قبل از رسیدن به وضعیت بحرانی کمک کرد. با توجه به ضرورت و اهمیت این موضوع و اینکه چون استان اردبیل هم در سال‌های اخیر با خشک‌سالی و پهنه خشکی مواجه بوده است؛ بنابراین پژوهش پیش رو باهدف ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ناشی از خشک‌سالی استان اردبیل در حدود دو دهه اخیر انجام شده است.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غرب ایران با وسعت معادل ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع واقع شده است و دارای مختصات ۳۷ درجه و ۷ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی است و اقلیم آن به‌طور کلی متأثر از چهار عامل ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع آبی و توده هوای مهاجر است و عوامل دیگری مانند پوشش گیاهی و کشاورزی در مقیاس کوچک بر اقلیم آن اثر می‌گذارند. مطابق با شاخص دوماستن، اقلیم اردبیل از نوع نیمه‌خشک بوده است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۳). براساس داده‌های هواشناسی، میانگین دما و بارش استان در فصل تابستان به ترتیب برابر با ۲۰/۳ درجه سلسیوس و ۴۰/۸ میلی‌متر بوده است (اداره کل هواشناسی استان اردبیل، ۱۴۰۲). متوسط تعداد روزهای برفی، بارانی و یخبندان در اردبیل به ترتیب ۳۴، ۱۰۰ و ۱۲۷ روز در سال می‌باشد (دانشور وثوقی و همکاران، ۱۳۹۸). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان اردبیل و ایستگاه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

برای بررسی وقوع و شدت خشک‌سالی در استان اردبیل از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و جهت تحلیل دوره تداوم خشک‌سالی از شاخص درصد بارش نرمال شده (PNPI)^۱ استفاده شد. برای این منظور داده‌های بارش چهار ایستگاه همدید واقع در استان اردبیل از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ از سازمان هواشناسی کشور اخذ و برای ارزیابی صحت داده‌های بارش مورد تحلیل قرار گرفت. در این راستا داده سالانه در محیط نرم‌افزار SPSS از نظر نرمال بودن با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و از نظر تصادفی بودن با آزمون ران تست بررسی شد و مطابق با آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، فرض صفر مبتنی بر نرمال بودن داده‌ها تأیید گردید (جدول ۱). نتایج آزمون ران - تست نیز نشان داد تمامی سری‌های مورد استفاده در این مطالعه همگن می‌باشد (جدول ۲).

1. Percent of Normal Precipitation index

جدول ۱. مقادیر آزمون کلموگروف - اسمیرنوف بارش در ایستگاه های منتخب استان اردبیل

ایستگاه	اردبیل	مشکین شهر	پارس آباد	خلخال
سطح معنی داری $P < 0.05$	۰/۶۵۰	۰/۹۰۶	۰/۵۹۴	۰/۵۴۵

جدول ۲. مقادیر آزمون ران - تست بارندگی در ایستگاه های منتخب استان اردبیل

ایستگاه	اردبیل	مشکین شهر	پارس آباد	خلخال
سطح معنی داری $P_{value} < 0.05$	۰/۶۹۶	۰/۹۰۶	۰/۳۰۵	۰/۷۵۵

شاخص SPI جهت پایش هواشناسی توسط مک کی و دوسکن کلیست^۱ در سال ۱۹۹۳ به کار برده شد. این شاخص براساس اختلاف در مقدار بارش همراه و میانگین بارش در دوره زمانی مشخص و تقسیم آن بر انحراف معیار مقادیر بارش آن دوره به دست می آید و از طریق رابطه (۱) قابل محاسبه است (آرخی و همکاران، ۱۴۰۱؛ شریفی پیچون و همکاران، ۱۴۰۱).

$$SPI = \frac{X_i + \bar{X}}{SD} \quad \text{رابطه (۱)}$$

شاخص PNPI از ساده ترین روش های تخمین و ارزیابی خشک سالی و ترسالی است که با استفاده از میانگین بلندمدت بارش، تغییرات را برای دوره های ماهانه، سالانه و فصلی حساب می کند. در این روش، بارش نرمال برای هر منطقه برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته می شود (ویلکس^۲، ۲۰۱۱) و بر مبنای رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$PNPI = \frac{X_i}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه های فوق X_i مقدار بارش همراه، $\bar{X}$ میانگین بارش بلندمدت و SD انحراف معیار مقدار بارش است (خسروی یگانه و همکاران، ۱۴۰۱). پس از احتساب مقدار این شاخص ها برای ایستگاه های (اردبیل، خلیخال، پارس آباد و مشکین شهر) به صورت جداگانه در هر بازه زمانی، وضعیت خشک سالی و ترسالی به کلاس های مختلف که در جدول (۳ و ۴) مشاهده می شود، تقسیم شد و برای تبدیل نقاط این شاخص ها به نقشه، از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد (دین پژوه و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۳. کلاس بندی شدت خشک سالی براساس نمایه هواشناسی SPI (زند و همکاران، ۱۴۰۰)

شدت خشک سالی	نمایه SPI
خشک سالی بسیار شدید	-۲ و کمتر
خشک سالی شدید	-۲ تا -۱/۵
خشک سالی متوسط	-۱/۵ تا -۱
نرمال	-۱ تا ۱
ترسالی متوسط	۱/۵ تا ۱
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۲
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر

جدول ۴. طبقات شاخص خشک سالی PNPI (دوگان^۳ و همکاران، ۲۰۱۲).

طبقه بندی خشک سالی	ترسالی	نرمال	خشک سالی
خفیف	۱۲۰-۱۳۰	۸۰-۱۲۰	۷۰-۸۰
متوسط	۱۳۰-۱۴۵		۵۵-۷۰
شدید	۱۴۵-۱۶۰		۴۰-۵۰
بسیار شدید	۱۶۰ و بیشتر		۴۰ و کمتر

1. McKee & Doesken Kleist

2. Wilks

3. Dogan

جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی تولیدات MOD13Q1 سنجنده مودیس برای مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در بازه زمانی مذکور مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر در عامل مقیاس^۱ ضرب شد. سپس از داده‌های دریافتی همین سنجنده برای ارزیابی نمایه VCI^۲ دربردارنده محصول آماده پوشش گیاهی در قالب تولیدات MOD13A1 با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روزه مربوط به سری زمانی نمایه NDVI استفاده شد و در نهایت نقشه‌های سالانه آن‌ها تولید شد. کلیه فرایندها پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس در پلتفرم گوگل ارث انجین کدنویسی شد و بعد از انجام کدنویسی برای طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف شاخص‌های استخراج شده (شدت و مدت) از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شد. شاخص NDVI یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص پوشش گیاهی می‌باشد که از تفاضل باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (RED) به‌دست می‌آید (رابطه ۳). مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ در نوسان بوده و در آن مقادیر بیشتر از صفر بیانگر پوشش گیاهی متراکم است (گیلوری و همکاران، ۱۴۰۱).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{رابطه ۳}$$

پس از محاسبه این شاخص، تغییرات پوشش گیاهی طی هرسال در چهار طبقه، مناطق فاقد پوشش گیاهی، مناطق با پوشش گیاهی پراکنده، پوشش گیاهی نرمال و متراکم (جدول ۵)، کلاس‌بندی شد و تغییرات آن طی در دوره بررسی شده مورد تحلیل قرار گرفت (کریمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ متین فر و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۵. طبقه‌بندی مقادیر شاخص NDVI

مقدار شاخص	طبقه
< ۰/۰۵	مناطق بدون پوشش گیاهی
۰/۰۵-۰/۱	پوشش گیاهی تنک و پراکنده
۰/۱-۰/۵	پوشش گیاهی معمولی و نرمال
> ۰/۵	پوشش گیاهی متراکم

نمایه وضعیت پوشش گیاهی (VCI) یکی از پارامترهای مؤثر برای مطالعه خشک‌سالی از طریق تغییر در میزان نم موجود در گیاهان است (بنتو^۳ و همکاران، ۲۰۱۸) که بر اساس رابطه (۴) به‌دست می‌آید و تابع مقدار NDVI برای یک دوره چندین ساله است (میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

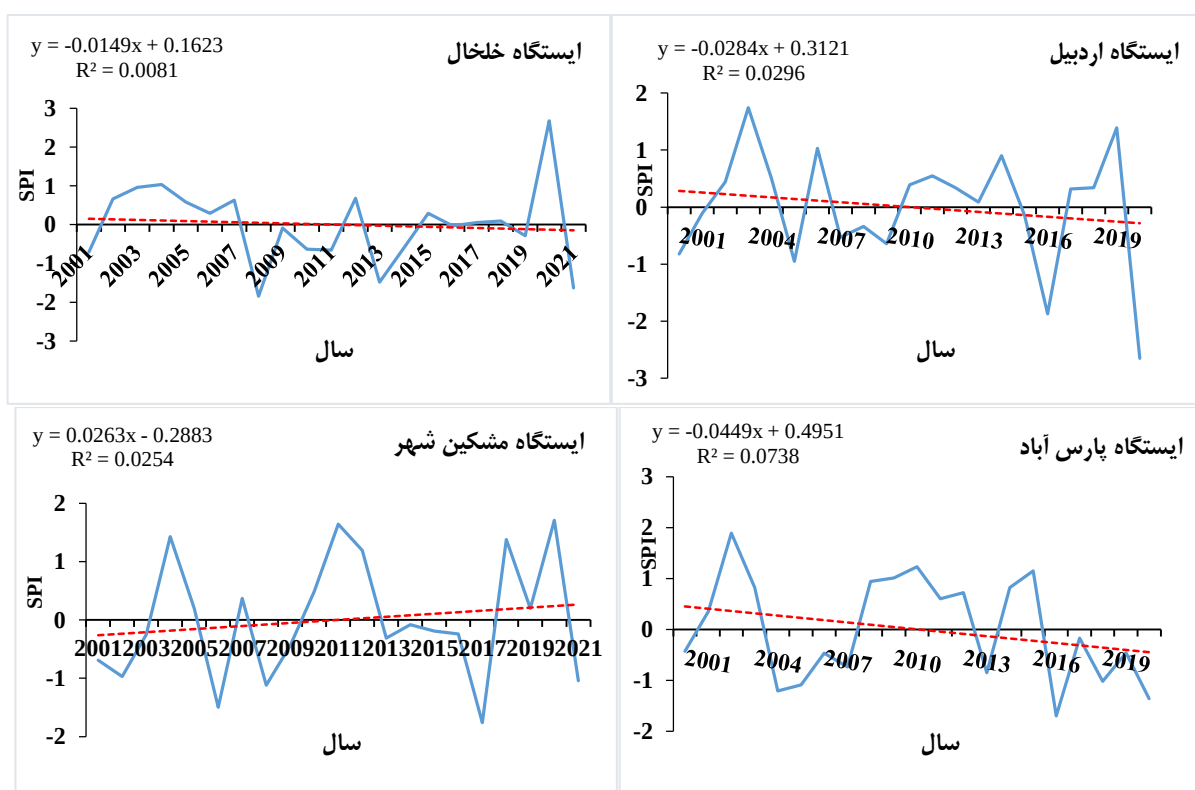
در رابطه فوق NDVI نمایه نرمال شده پوشش گیاهی است و $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ میانگین حداقل و حداکثر نمایه NDVI می‌باشد. این نمایه شرایط غالب پوشش گیاهی را بیان می‌کند و هرچه این نمایه به سمت صفر برود بیانگر حاکمیت یک شرایط خشک‌سالی بسیار شدید خواهد بود (فخار و کاویانی، ۱۴۰۲).

گام بعد شامل تعیین روابط بین شاخص‌های خشک‌سالی SPI و PNPI با شاخص ماهواره‌ای NDVI در پوشش‌های مختلف استان اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ است که برای این منظور از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص NDVI با داده شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI)

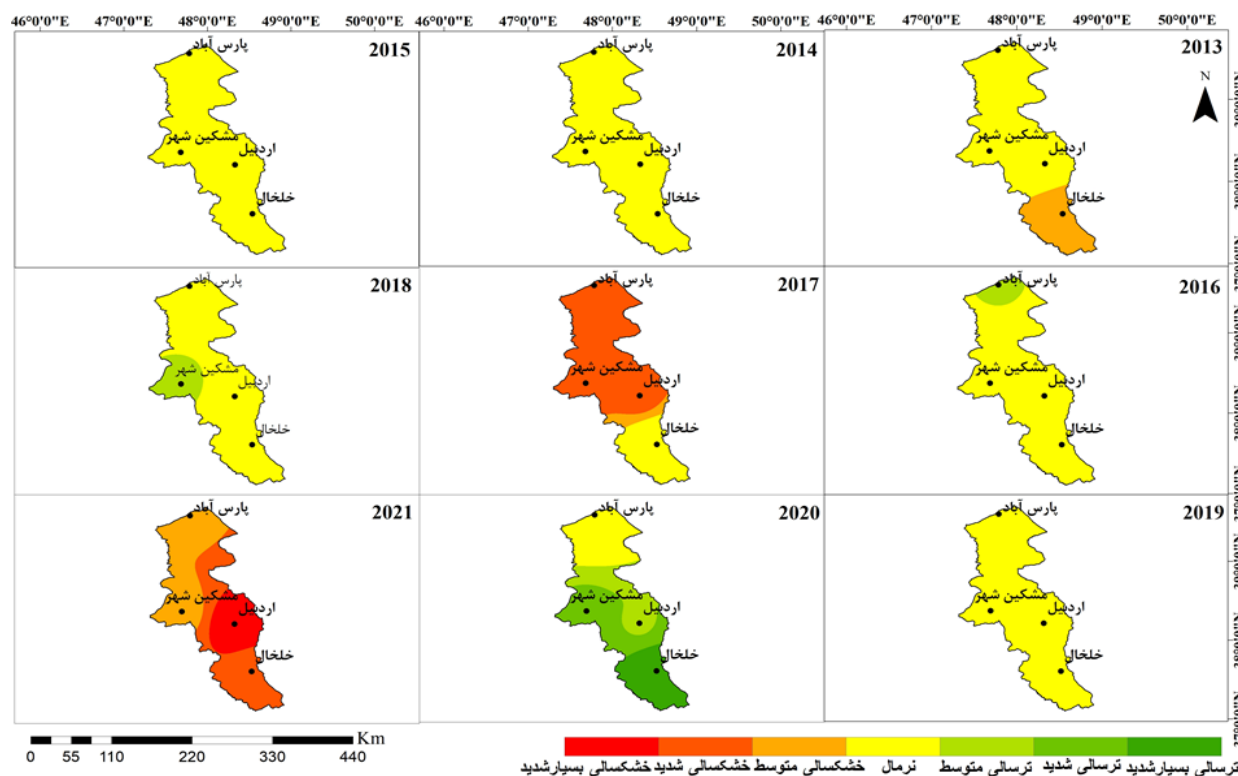
در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های همدید استان اردبیل به‌عنوان داده ورودی استفاده شد. پس از تهیه و آماده‌سازی داده‌های بارش در طول دوره آماری مورد بررسی، میزان شاخص SPI برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. روند سری زمانی تغییرات شاخص خشک‌سالی SPI برای هر ایستگاه به همراه خط روند در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق این شکل طی دوره آماری تنها در ایستگاه مشکین‌شهر پارامتر خشک‌سالی هواشناسی (شاخص SPI) روند افزایشی دارد که این مهم نشان‌دهنده کاهش کوتاه‌مدت وضعیت خشک‌سالی در سال‌های اخیر برای این ایستگاه می‌باشد. در صورتی که سایر ایستگاه‌ها در این بازه زمانی روند کاهشی داشته‌اند که نشان از شدت و تنش بیشتر خشک‌سالی در این ایستگاه‌ها دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که در اکثر ایستگاه‌ها شدیدترین خشک‌سالی‌ها مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ می‌باشد. در طول دوره بررسی شده ایستگاه اردبیل، خلخال، پارس‌آباد و مشکین‌شهر به ترتیب با ۲، ۳، ۵ و ۴ مورد خشک‌سالی شدید مواجه بوده‌اند.



شکل ۲. شاخص بارش استاندارد (SPI) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۲۱) (منبع: یافته‌های تحقیق)

براساس مقادیر حاصل‌شده از شاخص SPI برای بارزسازی وضعیت خشک‌سالی‌های چهار ایستگاه منتخب استان اردبیل، نقشه پهنه‌بندی برای مقطع زمانی مختلف (۲۰۰۱-۲۰۲۱) ترسیم گردید (شکل ۳). با توجه به نقشه‌های حاصل‌شده از خشک‌سالی‌های استان مشاهده می‌شود که شدت و گستره خشک‌سالی ایستگاه‌های این ناحیه از ایران فقط در طول سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده و از منظر خشک‌سالی در وضعیت بحرانی قرار گرفته است و بخش‌های زیادی از استان تحت سیطره خشک‌سالی متوسط تا شدید قرار داشته است. نکته دیگر اینکه مقدار و شدت خشک‌سالی‌ها هم دچار جابه‌جایی مکانی شده است بر این اساس، در سال ۲۰۲۱ (سال خشک) شهرستان اردبیل خشک‌سالی بسیار شدیدی را پشت سر گذاشته است. شهرستان‌های خلخال، پارس‌آباد و مشکین‌شهر نیز درگیر خشک‌سالی‌های شدید بوده‌اند.

Figure 1 displays the spatial distribution of the Standardized Precipitation Index (SPI) for the years 2001 to 2012 in the Gilan province of Iran. The maps are arranged in a 3x4 grid, with each map representing a specific year. The legend at the bottom indicates the SPI values, ranging from -4.0 (severe drought) to 4.0 (severe wetness), with intermediate values at -3.0, -2.0, -1.0, 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0. The maps show varying degrees of drought and wetness across the province, with notable areas of severe drought (red) in 2006 and 2008, and severe wetness (green) in 2003 and 2011. The maps also show the locations of major cities: Pars Abad, Ardabil, Meshgin Shahr, and Kelagh.

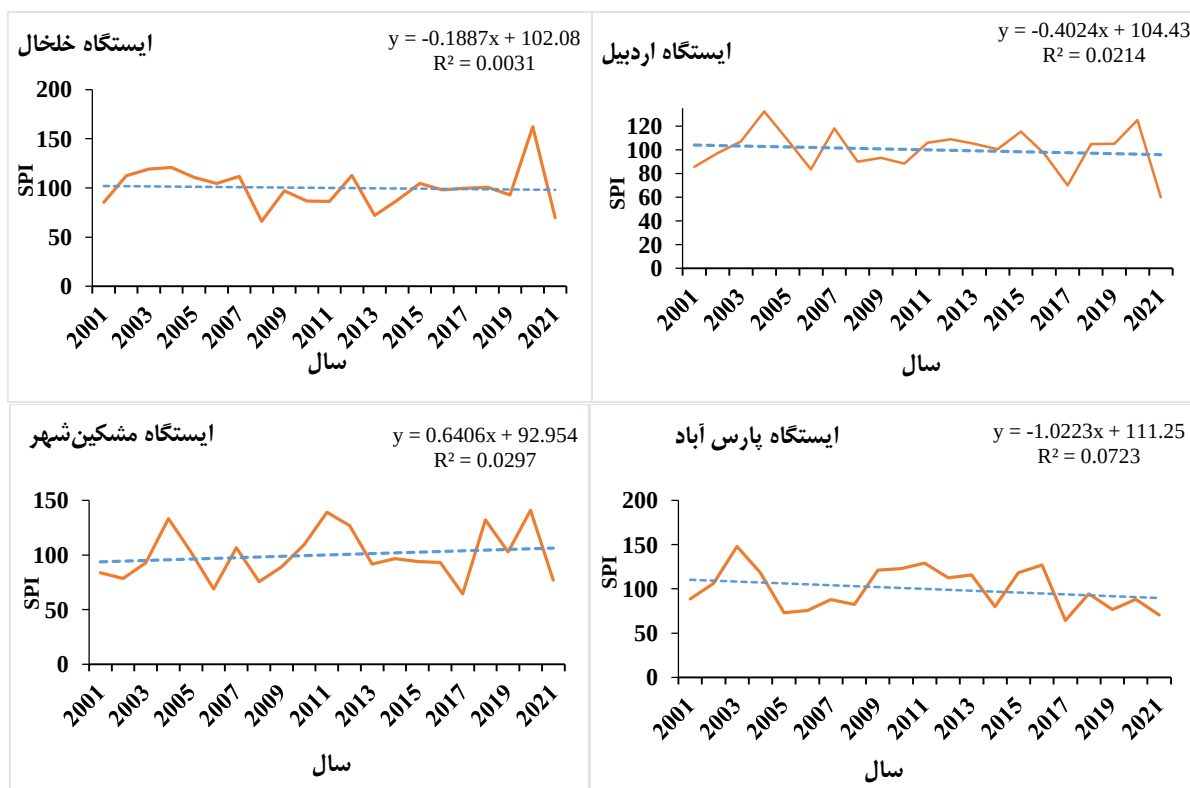


شکل ۳. بررسی خشک سالی براساس کلاس بندی سری زمانی مقادیر SPI طی سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)

در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه‌ها در بیشتر دوره آماری مورد بررسی تمایل به وضعیت نرمال و یا ترسالی داشته‌اند که نشان از شرایط اقلیمی و جوی بهتر مناطق در این مقطع زمانی دارد. ترسالی‌های متوسط تا خیلی شدید بیشتر متعلق به سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۰ است به‌طوری‌که ایستگاه اردبیل در سال ۲۰۰۴ و خلخال در سال ۲۰۲۰ ترسالی بسیار شدید و مشکین‌شهر در سال ۲۰۱۱ ترسالی شدید را تجربه کرده‌اند و سایر ایستگاه‌ها در طی سال‌های مذکور درگیر شرایط ترسالی خفیف بوده‌اند؛ بنابراین، براساس شاخص مذکور، شدت و فراوانی خشک‌سالی‌ها در استان تنها در بعضی از بازه‌های زمانی افزایش پیدا کرده است و البته مکان انواع طبقات خشک‌سالی‌ها از جمله خشک‌سالی شدید نیز جابه‌جایی‌هایی داشته است.

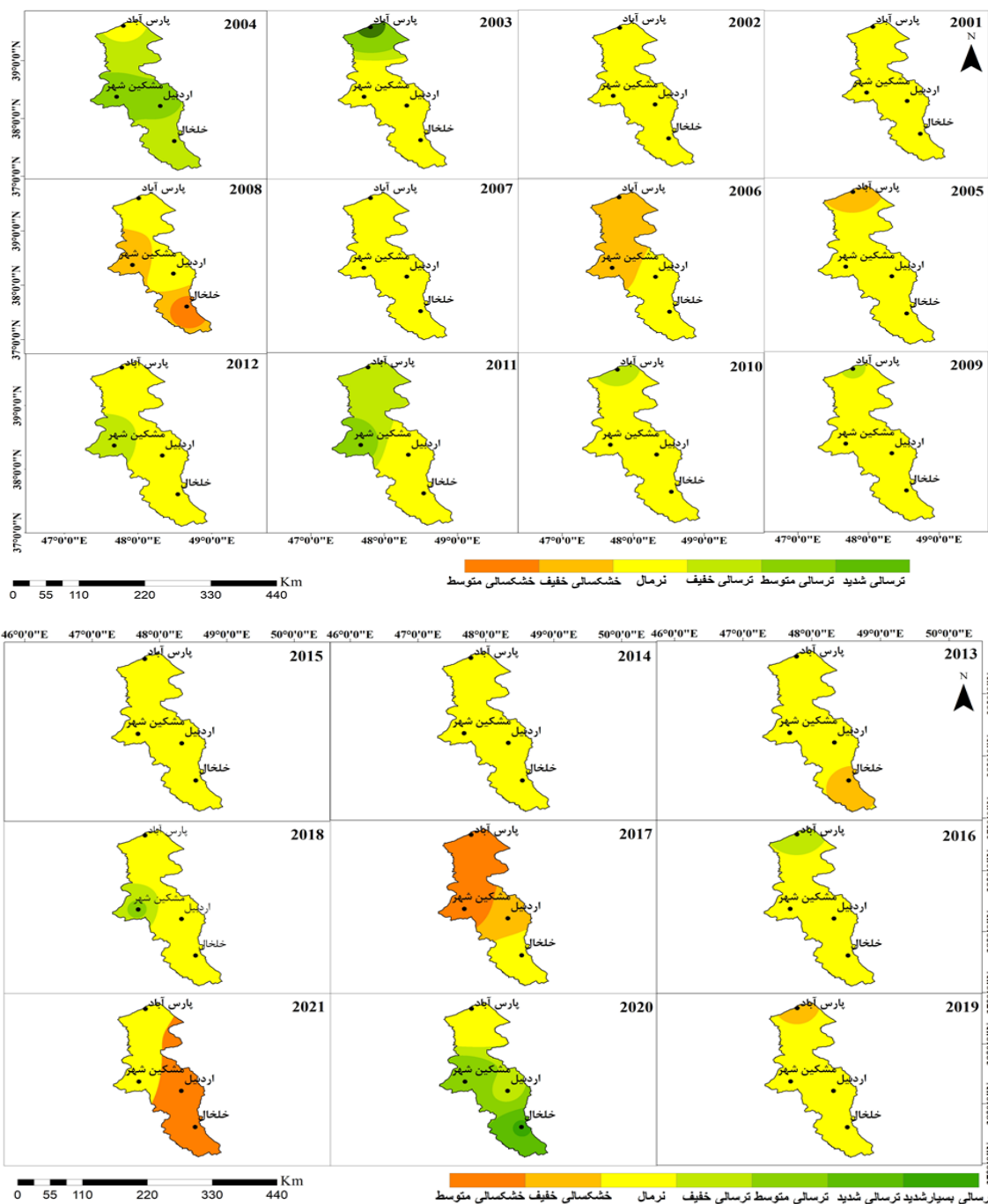
پایش وضعیت خشک‌سالی استان اردبیل براساس شاخص PNPI

جهت پایش شرایط خشک‌سالی در ایستگاه‌های استان اردبیل مطابق با شاخص PNPI طی دوره زمانی مطالعه شده، در ابتدا مقادیر این شاخص براساس آمار بارندگی‌های ایستگاه‌های منتخب مشخص گردید و نمودار روند تغییرات شاخص مذکور ترسیم شد (شکل ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات به‌دست‌آمده برحسب بارش سالانه بوده و مساحت زیر نمودار قائم برای ایستگاه‌های انتخاب شده بیانگر رخداد شرایط خشک‌سالی است که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها قابل مشاهده است و تنها تفاوت آن‌ها در میزان شدت و ضعف این واقعه است. در این میان اردبیل و مشکین‌شهر در معرض وضعیت خشک‌سالی متوسط تا ترسالی متوسط، خلخال در شرایط خشک‌سالی متوسط تا ترسالی بسیار شدید (اثرات عامل ارتفاع و ریزش بارش‌های جوی در ارتفاعات می‌تواند از دلایل اصلی آن باشد) و پارس‌آباد نیز درگیر وضعیت خشک‌سالی متوسط تا ترسالی شدید بوده است که با نتایج پژوهش جهانگیر و همکاران (۱۴۰۰) همساز است. به‌دلیل آنکه ایستگاه‌ها از نظر فاصله نزدیک به هم هستند؛ تقریباً روند تغییرات شاخص نسبت به بازه زمانی مطالعه شده یکسان بوده است.



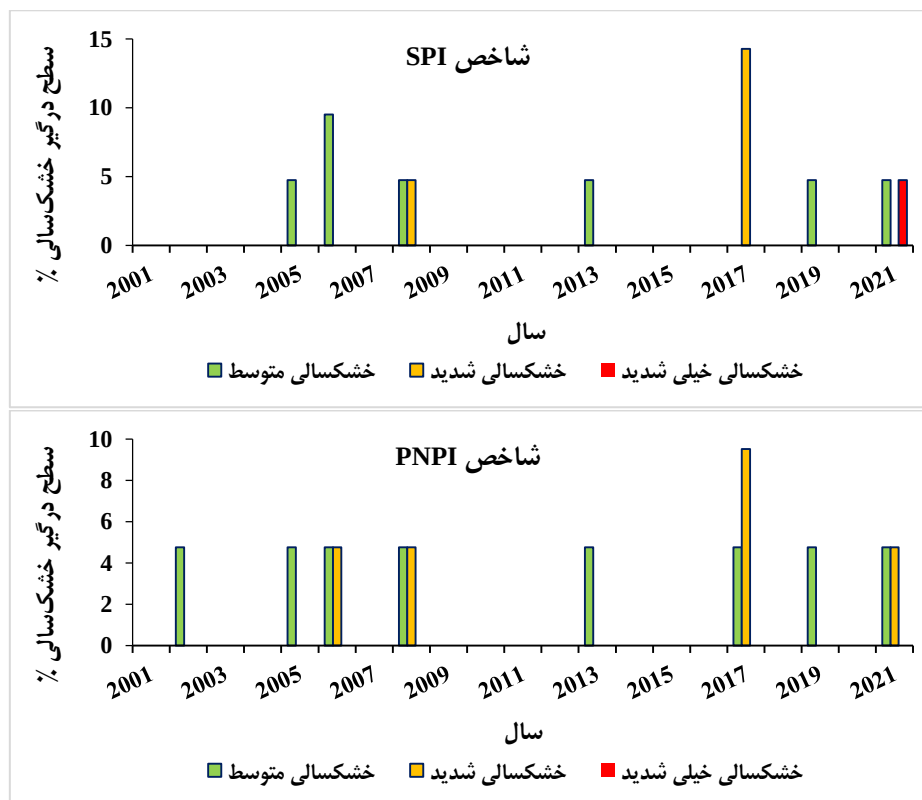
شکل ۴. نمودار روند مقادیر شاخص PNPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۲۱) (منبع: یافته‌های تحقیق)

مطابق با مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص PNPI و بارزسازی وضعیت خشک‌سالی‌های استان در ایستگاه‌ها، نقشه پهنه‌بندی برای دوره زمانی مختلف (۲۰۲۱-۲۰۰۱) ترسیم گردید. تجزیه و تحلیل این نقشه‌ها (شکل ۵) نمایانگر آن است که این شاخص تا حد زیادی از نتایج حاصل شده از شاخص SPI پیروی می‌کند. ایستگاه‌ها دارای نوسانات خشکی و ترسالی متعددی هستند که دلیل این تفاوت می‌تواند بستگی به عوامل مختلفی مانند ارتفاع، مدت و پراکنش بارندگی و رطوبت نسبی داشته باشد. سطح استان اردبیل به‌جز ایستگاه خلخال در سال ۲۰۱۷ دچار خشک‌سالی خفیف تا متوسط بوده است. بیشتر سال‌های مورد بررسی در وضعیت نرمال (رنگ زرد) قرار دارند و ترسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰ به‌ترتیب مربوط به پارس‌آباد و خلخال است و ترسالی‌های خفیف تا متوسط دربرگیرنده مشکین‌شهر و اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۰ است.



شکل ۶. بررسی خشک‌سالی براساس کلاس‌بندی سری زمانی مقادیر PNPI طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)

طبق یافته‌های به‌دست‌آمده می‌توان استنباط کرد که براساس SPI و PNPI محاسبه‌شده طی دوره آماری، در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ تقریباً ۴/۷ درصد از مساحت استان اردبیل درگیر خشک‌سالی خفیف و ۴/۷ درصد از آن نیز درگیر خشک‌سالی شدید بوده است. اما در سال ۲۰۱۷ مطابق با شاخص SPI حدود ۱۴/۲ درصد از سطح استان درگیر خشک‌سالی شدید بوده است. طبق یافته‌های شاخص PNPI پدیده خشک‌سالی با شدت‌های متوسط و شدید به‌ترتیب در حدود ۴/۷ و ۹/۵ درصد از سطح استان اتفاق افتاده است. بر این اساس، بیشترین دوره‌های خشک‌سالی رخ داده در طول سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ بوده که در این بازه‌ها هم کاهش شدید NDVI رخ داده است (شکل ۷).



شکل ۷. سطوح درگیر خشک‌سالی در استان اردبیل طی دوره آماری (۲۰۲۱-۲۰۰۱) با استفاده از شاخص‌های SPI و PNPI (منبع: یافته‌های تحقیق)

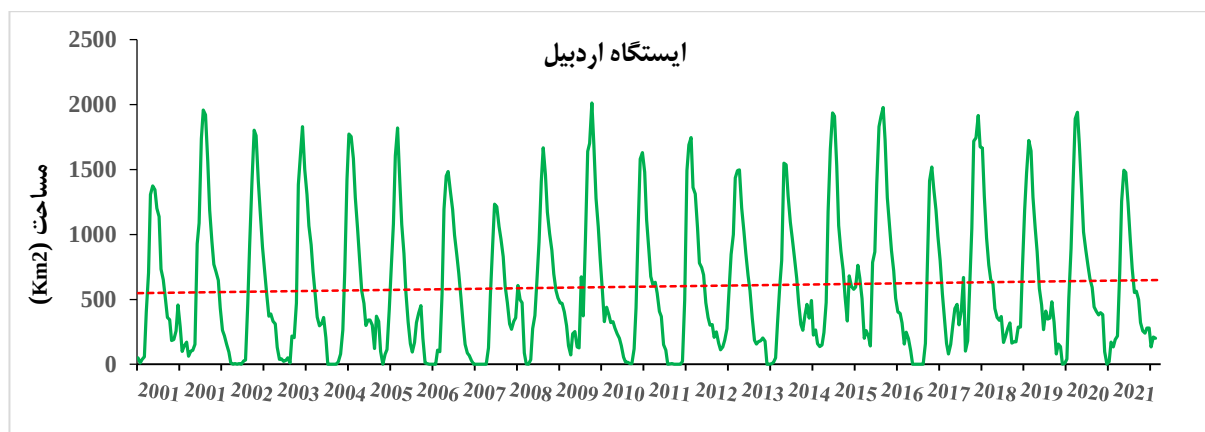
همچنین برای بررسی رابطه بین شاخص‌های خشک‌سالی با شاخص پوشش گیاهی، از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شد نتایج حاصل از ضریب همبستگی (جدول ۶) نشان داد بیشترین میزان همبستگی بین شاخص SPI با شاخص پوشش گیاهی در ایستگاه پارس‌آباد وجود دارد که مقدار آن برابر با ۰/۶۵۷ بوده و در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد معنادار است. کمترین میزان همبستگی هم بین شاخص PNPI با شاخص پوشش گیاهی در ایستگاه مشکین‌شهر با مقدار ۰/۲۵۲ وجود دارد. همبستگی بین شاخص‌های زمینی با شاخص پوشش گیاهی ایستگاه اردبیل در سطح اطمینان ۰/۰۵ معنادار و در پارس‌آباد در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد معنادار و در دو ایستگاه دیگر با بدون معناداری همراه است. بیشترین میزان همبستگی بین VCI با NDVI در ایستگاه اردبیل وجود دارد. در حالت کلی این همبستگی نمایانگر روند کاهش میزان پوشش گیاهی با افزایش میزان خشک‌سالی می‌باشد و نشان می‌دهد خشک‌سالی بر وضعیت پوشش سطح استان اثر می‌گذارد.

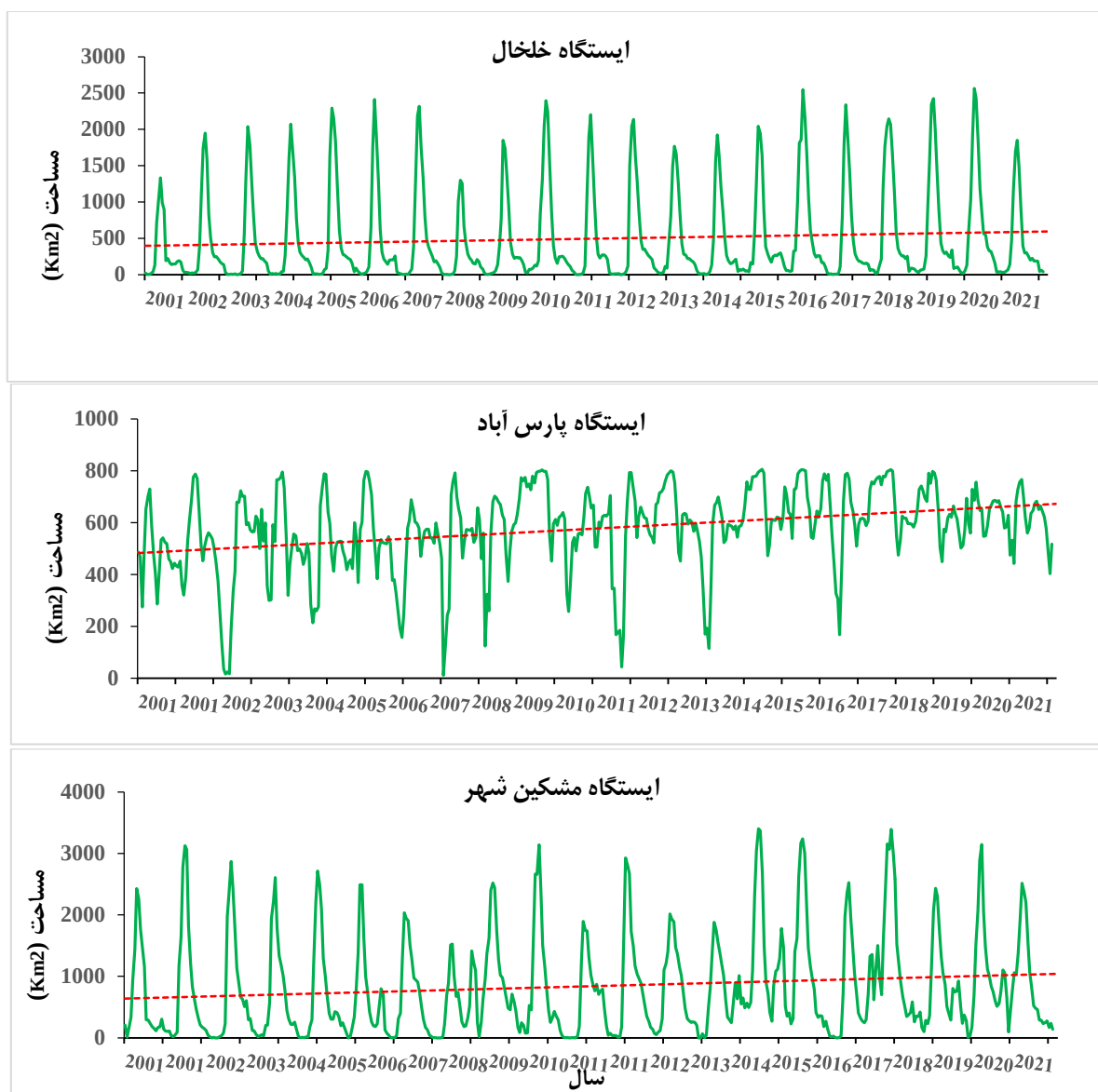
جدول ۶. همبستگی بین شاخص‌های خشک‌سالی با شاخص پوشش گیاهی NDVI (منبع: یافته‌های تحقیق)

ایستگاه	شاخص VCI	شاخص SPI	شاخص PNPI
اردبیل	۰/۶۳۶*	۰/۵۱۶*	۰/۴۷۹*
خلخال	۰/۳۱۷*	۰/۳۷۷	۰/۳۴۵
پارس‌آباد	۰/۴۴۷*	۰/۶۵۷**	۰/۶۳۵**
مشکین‌شهر	۰/۳۱۱	۰/۲۶۱	۰/۲۵۲

** همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ * همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵

جهت بررسی تغییرات مکانی پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱، مساحت مناطق تحت پوشش در محدوده صفر تا ۰/۳ و همچنین بیشتر از ۰/۳ در محدوده زمانی کد نویسی شد که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است. نمودار شیب تغییرات پوشش گیاهی در مطابقت با نقشه‌های پهنه‌بندی شده پوشش گیاهی است و نقشه شیب تغییرات پوشش گیاهی تغییرات قابل توجهی را در توزیع فضایی نشان می‌دهد. بیشترین مساحت پوشش گیاهی در ایستگاه‌ها مربوط به ماه‌های می و آوریل و کمترین آن مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه است. همچنین بیشترین میزان پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۶ شامل مساحتی حدود دو هزار کیلومتر در ماه می برای اردبیل و مساحت ۸۵۰ کیلومترمربع در ماه آوریل برای پارس‌آباد است. در ایستگاه خلخال طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مساحت خلخال دارای پوشش گیاهی بوده و کمترین مقدار آن در پارس‌آباد طی ماه ژانویه با مساحتی معادل ۱۱ کیلومتر مطابق با سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۳ بوده است. در مشکین‌شهر طی ماه آوریل سال ۲۰۱۵ بیشترین مساحت پوشش گیاهی معادل با ۲۸۰۰ کیلومترمربع بوده است. در ماه‌های ژانویه و فوریه سال ۲۰۰۳ هیچ مساحتی از ایستگاه‌های اردبیل، خلخال و مشکین‌شهر دارای پوشش گیاهی نبوده است. در حالت کلی روند تغییرات شاخص طی ۲۱ سال در تمامی ایستگاه‌ها، دارای یک روند افزایشی با شیب کم در اردبیل و خلخال و با شیب نسبتاً تند در پارس‌آباد و مشکین‌شهر است و افزایش روند بیانگر بهبود شرایط پوشش گیاهی در دوره بررسی شده می‌باشد که با پژوهش (آصف‌جاه و همکاران، ۱۴۰۰) در استان فارس همساز است.



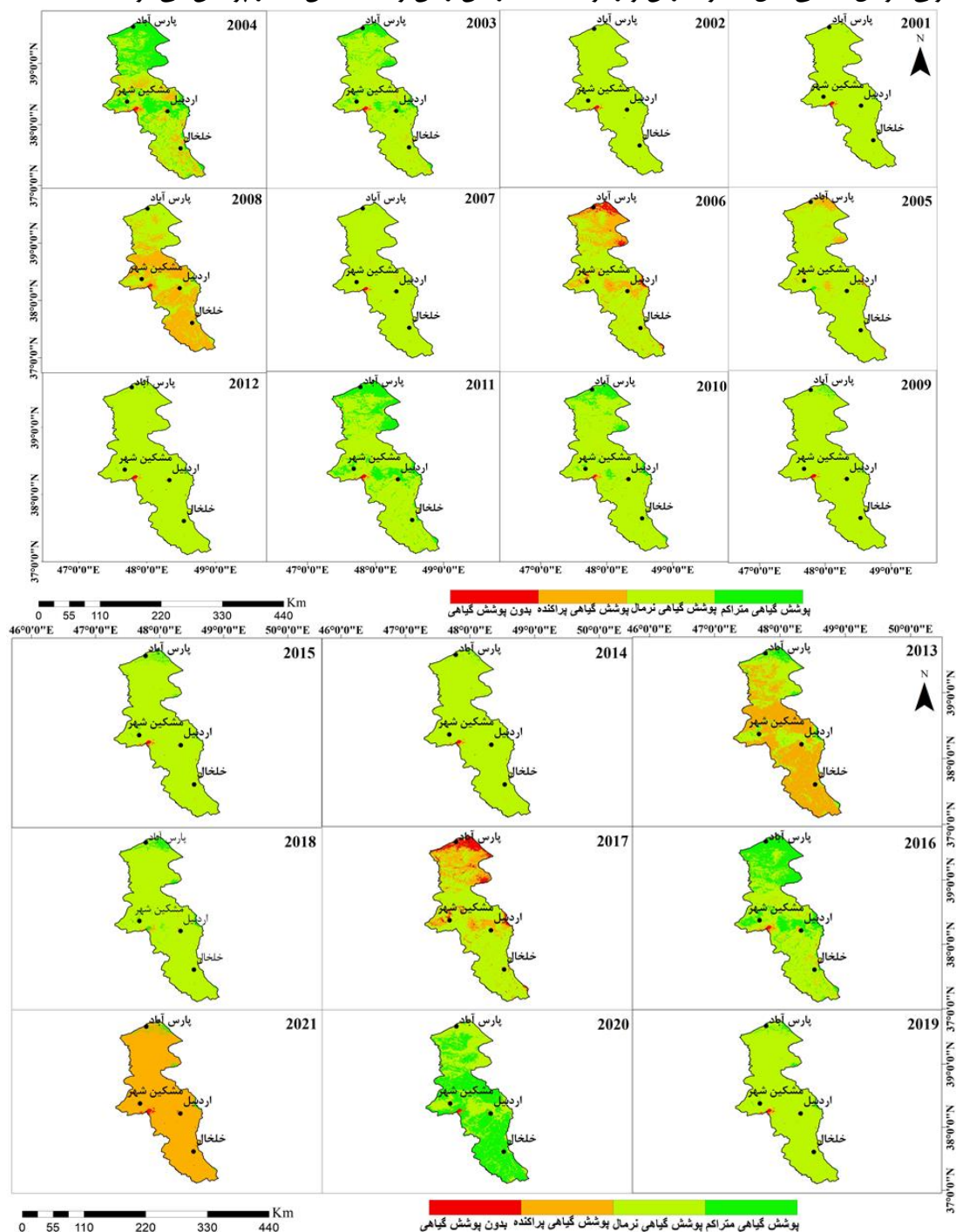


شکل ۸. نمودار روند تغییرات مساحت شاخص پوشش گیاهی NDVI از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI

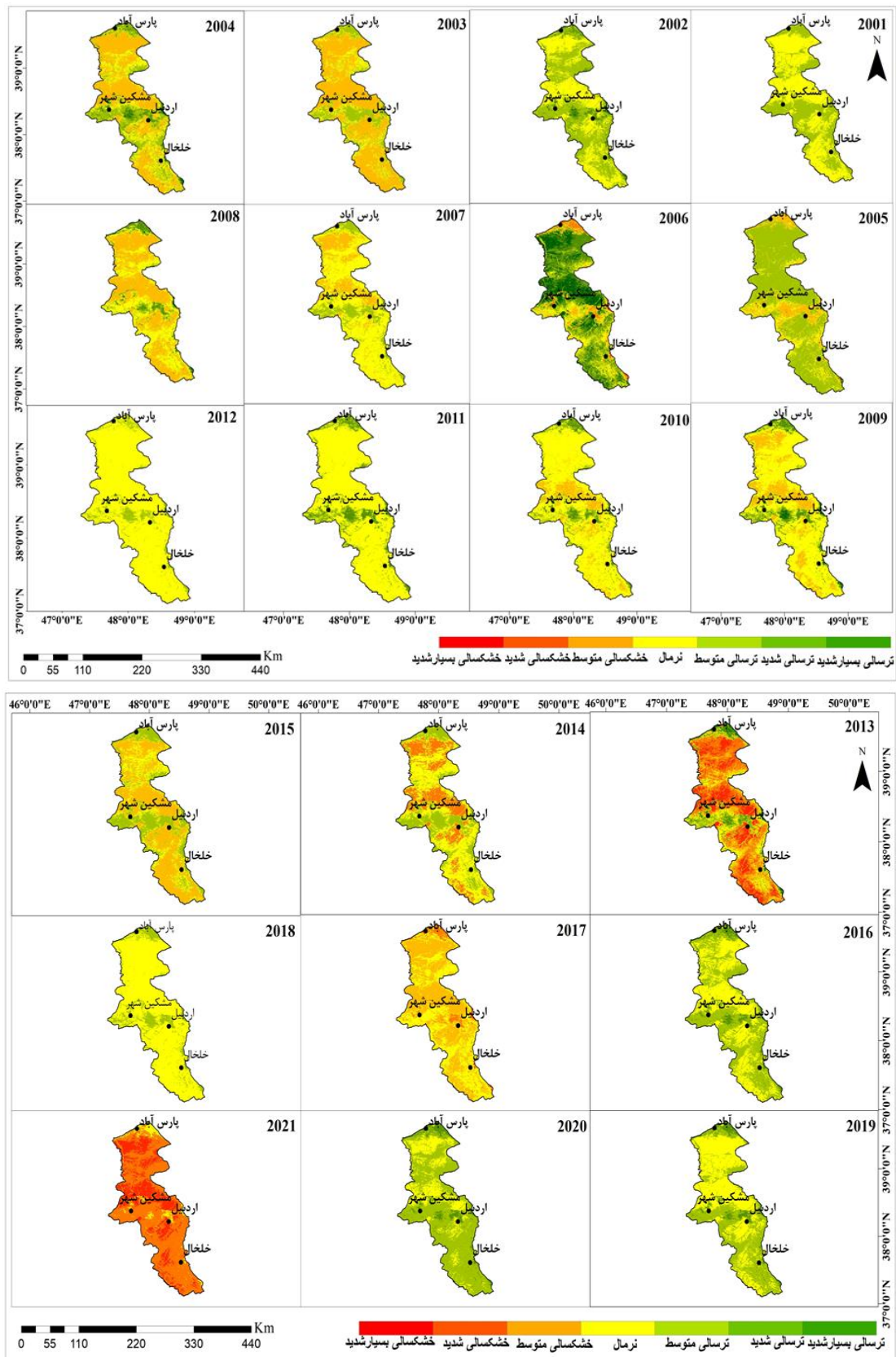
شاخص NDVI یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها برای بررسی پوشش گیاهی است. نتایج تغییرات طبقات مختلف پوشش گیاهی پهنه مورد بررسی طی دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۲۱) در شکل (۹) آورده شده است. نتایج نشان داد سطح استان به‌طور معمول از نظر پوشش گیاهی دارای وضعیت نرمال بوده است. توزیع فضایی و زمانی NDVI در طول این سال‌ها بیانگر وجود ناهمگونی در سراسر استان در بازه زمانی مختلف است. در شمال استان از جمله پارس‌آباد بیشترین مقادیر پوشش گیاهی وجود دارد که عمدتاً پوشش گیاهی متراکم، غنی و نرمال را شامل می‌شود. بیشتر بودن پوشش گیاهی در این نواحی می‌تواند ناشی از افزایش کشاورزی و تأمین آب آن از طریق منابع آب سطحی و زیرزمینی و متفاوت بودن اقلیم منطقه باشد و یا تأثیرپذیری کمتر پوشش گیاهی آن از شرایط اقلیمی و بارش در کوتاه مدت باشد. کاهش سطح پوشش گیاهی از سال ۲۰۲۰ به سال ۲۰۲۱ قابل مشاهده است و تنک و پراکنده شدن پوشش گیاهی در طی سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ هم کاملاً مشهود است. قسمت غربی استان که قسمت‌هایی از ایستگاه مشکین‌شهر را نیز دربرمی‌گیرد مناطق فاقد پوشش گیاهی تا کمینه مقدار پوشش گیاهی را

دربرمی گیرد. یکی از دلایل افزایش سطح مناطق پوشش گیاهی پراکنده و فاقد پوشش گیاهی می‌تواند تغییر در وضعیت دوره رشد گیاهان طی این سال‌ها باشد و همچنین وقوع خشک‌سالی منجر به خشک شدن زود هنگام و از بین رفتن کلروفیل پوشش مرتعی گردیده و این حالت سبب ظاهر شدن سطوح بیشتر در این دوطبقه شده است. در سایر قسمت‌های استان وضعیت پوشش گیاهی در حد نرمال بوده است که نشان‌دهنده تطابق و تشابه در گزارش رخداد های خشک‌سالی و ترسالی براساس مقادیر شاخص پوشش گیاهی با شاخص‌های خشک‌سالی SPI و PNPI است. می‌توان گفت توزیع مکانی پوشش گیاهی به مقدار بارندگی بستگی دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش مقدار بارندگی مقدار پوشش گیاهی و سپس مقدار شاخص NDVI افزایش پیدا می‌کند. ولی عوامل اقلیمی مثل کمبود بارش و رطوبت باعث از بین رفتن و تنک شدن مقدار پوشش می‌شود.



شکل ۹. نقشه NDVI طبقه‌بندی شده طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۲۱-۲۰۰۱) در استان اردبیل (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص VCI



شکل ۱۰: بررسی خشک‌سالی بر اساس کلاس‌بندی سری زمانی مقادیر VCI در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ (منبع: یافته‌های تحقیق)

از آنجایی که VCI تغییرات بارش را نسبت به NDVI واضح‌تر نشان می‌دهد. این شاخص به‌منظور بیان نمودن وضعیت پوشش گیاهی به کار گرفته شد. با توجه به شکل (۱۰) تنوع مقادیر VCI در سلامت پوشش گیاهی منطقه به‌وضوح قابل‌مشاهده است. این تنوع تغییرات مکانی غالباً به دلیل پراکنش نامرتب بارش می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر کلاس‌بندی شده توسط این شاخص نشان می‌دهد غالب خشک‌سالی‌های متوسط تا شدید در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ رخ داده است و در این سال‌ها وضعیت غالب استان به‌صورت متمایز با دیگر سال‌ها ظاهر شده به‌گونه‌ای که از شدت ترسالی در بیشتر پهنه‌های استان کاسته شده و قسمت‌های مرکزی استان بیشتر تحت تأثیر خشک‌سالی متوسط و قسمت‌های جنوبی آن باوجود داشتن اقلیم مرطوب تحت تأثیر خشک‌سالی‌های بسیار شدید قرار گرفته است. در حالت کلی براساس نمایه مزبور، شرایط خشک‌سالی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دو دهه اخیر چندان نامطلوب نبوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

درک صحیح و کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی از قبیل شرایط نرمال یا خشک‌سالی رخ داده در هر منطقه‌ای از ارزشمندی بسیاری بهره‌ور است. پژوهش پیش رو باهدف بررسی تغییرات پوشش گیاهی ناشی از پیامدهای خشک‌سالی سپس بررسی ارتباط بین تغییرات آن با شاخص‌های خشک‌سالی SPI و PNPI در ایستگاه‌های استان اردبیل صورت گرفته است. ناهم‌ساز با پژوهش شریفی پیچون و همکاران (۱۴۰۱) که نتیجه گرفتند شاخص SPI شدت خشک‌سالی بیشتری را نسبت به شاخص دیگر نشان می‌دهد نتایج حاصل از این پژوهش مشخص نمود که شاخص‌های مذکور برای پایش وضعیت خشک‌سالی در سطح استان تا حدودی مناسب هستند. همچنین مشاهده گردید که خشک‌سالی وضعیت پایداری در سطح استان نداشته و طی دوره (۲۰۲۱-۲۰۰۱) شدت آن از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر و از سالی به سال دیگر به‌صورت متفاوت ظاهر شده است و در برخی سال‌ها با شدت بیشتری نسبت به دوره‌های مورد بررسی همراه بوده است. بااین‌همه می‌توان نتیجه گرفت که در بیشتر دوره آماری ایستگاه‌های استان در وضعیت نرمال قرار داشته‌اند. به‌علاوه، براساس نتایج حاصله از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI به‌عنوان مثال در سال ۲۰۲۱ سطح پوشش گیاهی به‌ویژه پوشش گیاهی متراکم در تمامی ایستگاه‌ها کاهش داشته درحالی‌که در سال ۲۰۲۰ سطح استان از پوشش گیاهی غنی‌تری برخوردار شده است که با پژوهش خسروی یگانه و همکاران (۱۴۰۱) در استان کرمانشاه همسویی و مشابهت دارد. در حالت کلی برای تراکم و وسعت پوشش گیاهی منطقه طی بازه ۲۱ ساله تغییرات نسبتاً زیادی مشاهده می‌شود و نقشه‌های حاصل از آن انطباق خوبی با نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و ماهواره‌ای نشان می‌دهد که بیانگر مطلوبیت بهتر این شاخص‌ها جهت تعیین گستره، شدت و فراوانی خشک‌سالی است. نتایج بررسی نمودارهای سری‌های زمانی نیز نشان داد که همساز با پژوهش کیخسروی و همکاران (۱۳۹۴) در استان سمنان و پژوهش گیلوری و همکاران (۱۴۰۱) در حوضه آبخیز حبله‌رود با افزایش مقدار دو شاخص SPI و PNPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی تنک کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی متراکم و نیمه متراکم افزوده می‌شود و بیشترین مساحت پوشش گیاهی طی ماه‌های فصل رشد آوریل و می و کمترین مقدار آن مصادف با ماه‌های فصل زمستان است. می‌توان در آینده با بررسی کمی و جزئی‌تر پارامترهای پوشش گیاهی (مانند تاج پوشش، تراکم و ...) و اقلیمی (مانند درجه حرارت، نم و ...) در درازمدت مبادرت به شکل‌دهی سیستم‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی نمود تا بتوان از خسارت‌های این پدیده کاست. همچنین پیشنهاد می‌شود مدیران و سیاستمداران با بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی حاصل از تصاویر سنجنده مودیس سیاست‌ها و طرح‌ریزی‌های لازم را به‌خصوص در طرح‌های وزارت جهاد کشاورزی جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی اتخاذ کنند.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۴۰۳/د/۹/۲۶۷۲۲ استخراج گردیده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری آن دانشگاه تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

- آرخی، صالح؛ برزگر سواسری، مرضیه و عمادالدین، سمیه (۱۴۰۱). بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشک‌سالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱(۳)، ۱۸۹-۲۲۴.
- آصف جاه، بهناز؛ اسماعیل‌پور، یحیی؛ بذرافشان، ام‌البنین و زمانی، حسین (۱۴۰۱). پایش تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی (مطالعه موردی: استان فارس). *مرتع و آبخیزداری*، ۷۵(۳)، ۴۰۹-۴۲۷.
- اختیاری خواجه، شیوا و دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۷). کاربرد شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) برای بررسی دوره های خشکی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های تبریز، بندر انزلی و زاهدان). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۱(۱)، ۱۳۳-۱۴۵.
- اسکندری دامنه، حامد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذرنیوند، حسین و براتی، علی‌اکبر (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: استان هرمزگان). *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۹(۲۸)، ۱۳-۲۸.
- برخوری، سعید؛ دولت کردستانی، مجتبی و جواهری، کیما (۱۴۰۳). بررسی تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشک‌سالی در جنوب استان کرمان. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*.
- جهانگیر، محمدحسین؛ حسین دوست، محمدصادق و ارست، مینا (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت خشک‌سالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچ-بایرام (KBDI) در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۴)، ۵۷-۶۷.
- حسینی، سید بهروز؛ دین‌پژوه، یعقوب و نیکبخت، جعفر (۱۳۹۴). تحلیل خشک‌سالی‌های شمال غرب ایران با روش شاخص اکتشاف خشک‌سالی. *آب و خاک*، ۲۹(۲)، ۳۹۵-۳۱۰.
- حسینی، سید مهدی؛ دین‌پژوه، یعقوب و بابامیری، امید (۱۴۰۳). پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی با شاخص GRI و استفاده از مدل‌های تصادفی خطی سری زمانی (منطقه مورد مطالعاتی: آبخوان دشت اردبیل). *هیدروژئولوژی*، ۹(۲)، ۷۷-۹۲.
- خسروی یگانه، صمد؛ کرم پور، مصطفی و نصیری، بهروز (۱۴۰۱). ارزیابی خشک‌سالی پوشش گیاهی استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر مادون قرمز. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۳(۴)، ۱۹-۳۹.
- دانشور وثوقی، فرناز؛ دین‌پژوه، یعقوب و اعلمی، محمد تقی (۱۳۹۰). تأثیر خشک‌سالی بر تراز آب زیر زمینی در دو دهه اخیر (مطالعه موردی: دشت اردبیل). *دانش آب و خاک*، ۲۱(۴)، ۱۶۵-۱۷۹.
- زارع خورمیزی، هادی و غفاریان مالمیری، حمیدرضا (۱۳۹۶). پایش خشک‌سالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴. *مدیریت بیابان*، ۵(۱۰)، ۶۸-۸۶.
- زرگران، پریم؛ بذرافشان، جواد؛ آقاشریعتمداری، زهرا؛ حجابی، سمیه و کمالی، سعیده (۱۳۹۸). پایش روزانه تأثیر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های بارش شبکه INTERIM و تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *هواشناسی کشاورزی*، ۷(۲)، ۳-۱۴.
- زند، رحمان؛ انتظار، علیرضا؛ باعقیده، محمد و خسرویان، مریم (۱۴۰۰). ارزیابی خشک‌سالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی ایران. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۲(۲)، ۳۶-۴۹.
- سپه وند، علیرضا؛ قبادی، مرتضی؛ کرم پور، مصطفی و میردريکوند، بهرام (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر وقوع خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی حوضه کشکان لرستان با استفاده از داده‌های چند زمانه ETM+ و OLI لندست. *مرتع*، ۱۶(۱)، ۱۳۹-۱۳۴.
- شریفی پیچون، محمد؛ بهزادی، زهرا و محمدی، فروغ (۱۴۰۱). ارزیابی زمانی - مکانی روند خشک‌سالی و اثرات آن بر تغییرات پوشش گیاهی در استان فارس. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۳(۵۰)، ۵۷-۴۰.

شریفی، ویدا؛ احمدی، سلمان و غلام نیا، مهدی (۱۴۰۱). تحلیل اثر خشک‌سالی بر پارامترهای فنولوژی شاخص‌های گیاهی با استفاده از سری زمانی تصاویر سنجنده MODIS (مورد مطالعاتی: استان همدان). *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۱۲ (۲)، ۱۵۲-۱۶۶.

شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ علوی پناه، سید کاظم و محمدی، حسین (۱۳۸۹). بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشک‌سالی منطقه کاشان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۷ (۳)، ۴۴۵-۴۶۵.

عشقی زاده، مسعود (۱۴۰۲). ارزیابی اثر خشک‌سالی هواشناسی بر عملکرد پوشش گیاهی در طرح‌های کنترل فرسایش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر »*، ۳۲ (۱۲۶)، ۹۳-۱۱۳.

عقیفی، محمدابراهیم (۱۴۰۰). بررسی اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، مطالعه موردی: حوضه آبریز سد درودزن. *جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۹ (۷۰)، ۱۵۳-۱۷۲.

عوض پور، نسرین؛ فرامرزی، مرزبان؛ امیدی پور، رضا و مهدی زاده، حسین (۱۴۰۰). پایش تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ایلام). *جغرافیا و پایدار محیط*، ۱۱ (۴)، ۱۲۵-۱۴۳.

فتح نیا، امان‌اله؛ رجایی، سعید و برزو، فرزانه (۱۳۹۶). پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشک‌سالی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۶۰ (۲۱)، ۱۷۹-۱۹۶.

فخار، محدثه السادات و کاویانی، عباس (۱۴۰۲). ارزیابی و پایش خشک‌سالی در دشت قزوین با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر MODIS در گوگل ارث انجین. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۷ (۶)، ۱۰۸۹-۱۱۰۳.

فصل‌نامه هواشناسی (اداره کل هواشناسی استان اردبیل)، ۱۴۰۲.

کریمی، مهشید؛ شاهدی، کاکا؛ رضیعی، طیب و میرعقوب‌زاده، میرحسن (۱۳۹۸). بررسی کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در تحلیل خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از تکنیک سنجش از دور در حوزه آبخیز کرخه. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۱ (۴)، ۲۹-۴۶.

کیخسروی، قاسم (۱۳۹۴). بررسی تطبیقی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و ماهواره‌ای در روند بیابان‌زایی طبقات پوشش گیاهی فصل بهار استان سمنان. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۳ (۲)، ۱۸۹-۲۱۳.

گیلوری، احمد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذرنبوند، حسین و زارع، سلمان (۱۴۰۱). تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر روند تغییرات پوشش گیاهی در اقلیم‌های خشک و خشک نیمه مرطوب (حوزه آبخیز جله‌رود). *نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۷۵ (۱)، ۱۰۳-۱۱۷.

متین فر، حمیدرضا؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر و صادقی، حدیث (۱۴۰۲). پایش خشک‌سالی بوم‌شناختی زاگرس میانی بر پایه داده‌های ماهواره لندست-۷ و داده‌های اقلیمی (مطالعه موردی: استان لرستان). *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۵ (۳)، ۱۲۵-۱۴۲.

محمدی، پروا؛ ابراهیمی، کیومرث و بذرافشان، جواد (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز گرگانرود با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۷ (۶۰)، ۱۱-۱۹.

موغلی، مرضیه (۱۳۹۹). پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشک‌سالی در حوضه آبریز درود زن با استفاده از تصاویر. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۲ (۴۹)، ۸۵-۱۰۷.

میراحسنی، مرضیه سادات؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ سفیانیان، علیرضا؛ مدرس، رضا؛ جعفری، رضا و محمدی، جهانگیر (۱۳۹۶). پایش خشک‌سالی منطقه‌ای حوضه آبخیز زاینده‌رود بر اساس تغییرات سری زمانی شاخص VCI سنجنده مودیس و شاخص SPI. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۶ (۴)، ۲۱-۲۲.

میرموسوی، سید حسین و کریمی، حمیده (۱۳۹۲). مطالعه اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مورد: استان کردستان. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۱ (۳۱)، ۵۷-۷۶.

References

- Afifi, M. E. (2021). Investigation of the Effect of Drought on Vegetation Using Remote Sensing Techniques, Case Study of Dorodzan Dam Catchment. *Geography*, 19(70), 153-172. (in persian).
- Arekhi, S., Barzegar Savasari, M. & Emadaddian, S. (2022). Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 189-224. (in persian). <https://doi.org/10.22067/geoe.2021.72253.1102>.
- Asefjahi, B., Esmaeilpour, Y., bazrafshan, O. & Zamani, H. (2022). Monitoring temporal and spatial changes of vegetation and its relationship with climatic variables (case study: Fars province). *Journal of Range and Watershed Managment*, 75(3), 409-427. (in persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.337022.1637>.
- Avazpour, N., Faramarzi, M., Omidipour, R. & Mehdizadeh, H. (2021). Monitoring the Drought Effects on Vegetation Changes using Satellite Imagery (Case Study: Ilam Catchment). *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4), 125-143. (in persian). <https://doi.org/10.22126/ges.-2022.7130.2472>.
- Barkhori, S., Dolatkordestani, M. & Javaheri, K. (2024). Drought induced vegetation changes in south of Kerman province. *Integrated Watershed Management*, (), -. (in persian). <https://doi.org/10.22034/iwm.2024.2027447.1150>.
- Bento, V., Gouveia, M., DaCamara, C. & Trigo, F. (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259, 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.014>.
- Chandra, P., Wunnava, A., Verma, P., Chandra, A. & Sharma, R. K. (2021). Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: A review. *Pedosphere*, 31(3), 496-509. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60092-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60092-3).
- Chu, P. S., Nash, A. J. & Porter, F. Y. (1993). Diagnostic studies of two contrasting rainfall episodes in Hawaii: Dry 1981 and wet 1982. *Journal of Climate*, 6(7), 1457-1462.
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszynska, M. & Kowalik, W. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23. <https://doi.org/10.1080/01431160110070744>.
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y. & Aalami, M. (2011). Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science*, 21(4), 165-179. (in persian).
- Dinpashoh, Y., Jahanbakhsh-Asl, S., Rasouli, A.A. M. Foroughi, M. & Singh, V. P. (2019). Impact of climate change on potential evapotranspiration (case study: west and NW of Iran). *Theor Appl Climatol*, 136, 185–201. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2462-0>.
- Dogan, S., Berktaş, A. & Singh, V. P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.003>.
- Dutra, D. J., Elmiro, M. A. T., Nero, M. A., Coelho, C. W. G. A. & Temba, P. C. (2021). Temporal analysis of drought coverage in a watershed area using remote sensing spectral indexes. *Sociedade & Natureza*, 33, e59505. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59505>.
- Ekhtiari khajeh, S. and Dinpashoh, Y. (2018). Application of Effective Drought Index (EDI) in Characterizing Drought Periods (Case study: Tabriz, Bandar Anzali, and Zahedan). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), 133-145. (in persian). <https://doi.org/10.22055/jise.2018.13455>.
- Eshghizadeh, M. (2023). Assessment of the effect of meteorological drought on the performance of vegetation in erosion control projects using Landsat satellite images. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(126), 93-113. (in persian). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.1971473.2921>.
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H. & Barati, A. (2022). Investigating the Influence of Drought on Trend of Vegetation Changes in Arid and Semiarid Regions, Using Remote Sensing Technique: A Case Study of Hormozgan province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 13-28. (in persian). <https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.11>.

- Fakhar, M. & Kaviani, A. (2024). Evaluation and Monitoring of Drought in Qazvin Plain Using MODIS Based Indicators in Google Earth Engine. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 17(6), 1089-1103. (in persian).
- Fathnia, A. A., Rajaei, S. & Borzo, F. (2017). The Prediction probability of Repeated Drought Periods and Effects of Vegetation in Golestan Province. *Journal of Geography and Planning*, 21(60), 179-196. (in persian).
- Ghorbani-Aghdam, M., Dinpashoh, Y. & Mostafaeipour, A. (2013). Application of factor analysis in defining drought prone areas in Lake Urmia Basin. *Nat Hazards*, 69, 267-277. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0706-y>.
- Gillvare, A., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivand, H. & Zare, S. (2022). Impact of meteorological drought on vegetation change trends in arid and semi-humid climates (Hableh Rood Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 75(1), 103-117. (in persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.287930.1416>.
- Hoseini, S. M., Dinpashoh, Y. & Babamiri, O. (2025). Prediction of hydrological drought using the GRI index and linear random time series models (Study area: Ardabil Plain aquifer). *Hydrogeology*, 9(2), 77-92. (in persian). <https://doi.org/10.22034/hydro.2025.64314.1321>.
- Hosseini, B., dinpashoh, Y. & Nikbakht, J. (2015). Analysis of Droughts of Northwest of Iran Using the Reconnaissance Drought Index. *Water and Soil*, 29(2), 295-310. (in persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.28050>.
- Jahangir, M. H., Hosseindoost, M. S. & Arast, M. (2021). Assessment of drought condition in Guilan Province using the Keetch-Byram Drought Index (KBDI) in accordance with the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 57-67. (in persian). <https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9407.103>.
- Karimi, M., Shahedi, K., Raziei, T. & Miryaghoobzadeh, M. (2020). Analysis of Performance of vegetation indices on agricultural drought using remote sensing technique in Karkheh basin. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 11(4), 29-46. (in persian). <https://doi.org/10.52547/gisj.11.4.29>.
- Key Khosravi, G. H. (2015). A comparative study of satellite and meteorological drought indices of the desertification process in the spring vegetation of Semnan province. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 3(2), 189-213. (in persian).
- Khosravi Yeganeh, S., Karampour, M. & Nasiri, B. (2023). Evaluation of vegetation drought in Kermanshah province using infrared images. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 3 (12), 19-39. (in persian). <https://doi.org/10.52547/gsma.3.4.19>.
- Khosravi, H., Heidari Alamdarloo, E., Shekoohizadegan, S. & Zareie, S. (2017). Assessment of the effect of drought on vegetation in desert area using landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, S3-S12. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.007>.
- Li, X. & Pan, Y. (2024). The impacts of drought changes on alpine vegetation during the growing Season over the tibetan plateau in 1982-2018, *Remote Sens.* 16(11), 1909. <https://doi.org/10.3390/rs16111909>.
- Li, X., Li, Y., Chen, A., GAO, M., Slette, I. J. & Piao, S. (2019). The impact of the 2009/2010 drought on vegetation growth and terrestrial carbon balance in Southwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.036>.
- Li, Z., Sun, F., Wang, H., Wang, T. & Feng, Y. (2024). Detecting the interactions between vegetation greenness and drought globally. *Atmospheric Research*, 304 (10740). <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107409>.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q. & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>.
- Matinfar, H. R., Shamsipor, A. & Sadeghi, H. (2023). Ecological drought monitoring of Middle Zagros Based on landsat 7 satellite data and climate data (case study: Lorestan Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(3), 125-142. (in persian). <https://doi.org/10.48308/gisj.-2023.102804>.

- Mbatha, N. & Xulu, S. (2018), Time Series Analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of Recent Intense Drought. *Climate*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.20944/preprints201809.0522.v1>.
- McKee, T. & Doesken Kleist, N. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January. Anaheim, CA. 170-184.
- Mirahsani, M., Salman Mahini, A., Soffianian, A., Moddares, R., Jafari, R. & Mohammadi, J. (2018). Regional Drought Monitoring in Zayandeh-rud Basin Based on Time Series Variations of the SPI and Satellite-Based VCI Indices. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(4), 1-22. (in persian). <https://doi.org/10.22067/geo.v6i4.62601>.
- Mirmosavei, S. & kareimeh, H. (2013). Effect of Drought on Vegetation Cover Using MODIS Sensing Images Case : Kurdistan Province. *Geography and Development*, 11(31), 57-76. (in persian). <https://doi.org/10.22111/gdij.2013.794>.
- Mogholi, M. (2019). monitoring vegetation changes due to drought in Darud Zan watershed using images. *Natural Geography Quarterly*, 12(49), 107-85. (in persian).
- Mohammadi, P., Ebrahimi, K. & Bazrafshan, J. (2023). Investigation of land use changes in Gorganrood catchment using Google Earth Engine platform. *Jwmseir*, 17(60), 2. (in persian). <http://jwmsei.ir/article-1063-1-fa.html>.
- Sepahvand, A., Ghobadi, M., Karampoor, M. & Mir Derikvand, B. (2022). Drought Effects on Vegetation Changes in Kashkan Basin of Lorestan Using ETM + and OLI Landsat Data. *Pasture*, 16(1), 124-139. (in persian). <http://rangelandsrm.ir/article-1-761-fa.html>.
- Shamsi pur, A. A., Alavi panah, K. & Mohammadi, H. (2010). Efficiency of vegetation and thermal indices of NOAA-AVHRR satellite in ecological drought analysis of Kashan region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 17(3), 445-465. (in persian).
- Sharifi Paichoon, M., Behzadi, Z. & Mohamadi, F. (2023). Temporal-spatial evaluation of the drought process and its effects on vegetation changes in Fars province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 13(50), 57-40. (in persian). <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.375644.1000>.
- Sharifi, V., Ahmadi, S. & Gholamnia, M. (2023). Analysis of the effect of drought on the phenology parameters of vegetation indexes from the time series of MODIS sensor images (case study: Hamadan province). *JGST*, 12 (2), 11. (in persian). <http://jgst.issgeac.ir/article-1106-1-fa.html>.
- Wang, C. H., Huang, M. T. & Zhai, P. M. (2021). Change in drought conditions and its impacts on vegetation growth over the Tibetan Plateau, 2021. *Advances in Climate Change Research*, 12(3), 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2021.04.004>.
- Wilks, D. S. (2011). Statistical methods in the atmospheric sciences. *Academic press*, 100.
- Wu, C. H., Zhong, L., Yeh, P. J. F., Gong, Z., Lv, W., Chen, B., Zhou, J., Li, J. & Saisai Wang, S. (2024). An evaluation framework for quantifying vegetation loss and recovery in response to meteorological drought based on SPEI and NDVI. *Science of The Total Environment*, 906, 167632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167632>.
- Zandi, R., Entezari, A., Baaghde, M. & Khosravian, M. (2021). Evaluation of drought and its effects on vegetation in southern regions of Iran. *Researches in Earth Sciences*, 12(2), 36-49. (in persian). <https://doi.org/10.52547/esrj.12.2.36>.
- Zare khormizie, H. & Ghafarian Malamiri, H. R. (2018). Drought monitoring and its impact on vegetation cover using remote sensing techniques (Case Study: Yazd province, from 1994 to 2014). *Desert Management*, 5(10), 68-86. (in persian). <https://doi.org/10.22034/jdmal.2018.-30663>.
- Zargaran, P., Bazrafshan, J., Aghashariatmadary, Z., Hejabi, S. & Kamali, S. (2020). Daily monitoring of drought effects on vegetation cover using ERA-Interim precipitation data and MODIS Images (Case study: Kermanshah Province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 7(2), 3-14. (in persian). <https://doi.org/10.22125/agmj.2019.140733.1020>.
- Zhang, Q., Kong, D., Shi, P., Singh, V. P. & Sun, P. (2018). Vegetation phenology on the Qinghai-Tibetan Plateau and its response to climate change (1982–2013). *Agricultural and forest meteorology*, 248, 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.026>.

- Zhang, W., Wang, Z., Lai, H., Men, R., Wang, F., Feng, K., Qi, Q., Zhang, Z., Qiang Quan, Q. & Huang, S. H. (2023). Dynamic Characteristics of Meteorological Drought and Its Impact on Vegetation in an Arid and Semi-Arid Region. *Water*, 15(22), 3882. <https://doi.org/10.3390/w15223882>.
- Zhao, Z., Zhang, Y., Liu, L. & Hu, Z. (2018). The impact of drought on vegetation conditions within the Damqu River Basin, Yangtze River Source Region, China. *Plos one*, 13(8), e0202966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202966>.